

## Programmazione concorrente



Anno accademico 2014/15  
Sistemi Concorrenti e Distribuiti

Tullio Vardanega, [tullio.vardanega@math.unipd.it](mailto:tullio.vardanega@math.unipd.it)

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 1/38

 Programmazione concorrente

## Premesse – 2

- ❑ Molti linguaggi “storici” sono sequenziali
  - Prevedono un unico luogo del controllo
- ❑ Questo riflette l’architettura della macchina di von Neumann
  - Il modello concettuale del primo *stored-program computer* per l’esecuzione automatica di un programma
  - Una singola memoria per dati e istruzioni e una CPU che esegue un ciclo infinito *fetch-decode-read-execute-write*
- ❑ Un modello di esecuzione intrinsecamente sequenziale

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 3/38

 Programmazione concorrente

## Premesse – 1

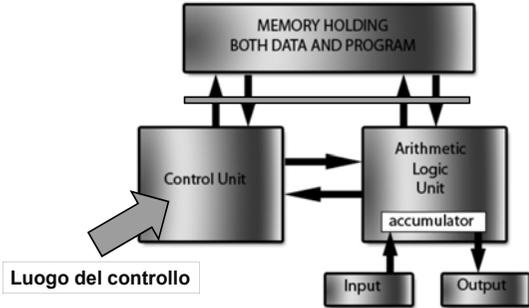
- ❑ L’espressività di un linguaggio ne è il potere ma anche il limite
  - Ciò che il linguaggio non prevede o non consente di esprimere non esiste
  - “*The limits of my language are the limits of my mind. All I know is what I have words for.*”  
Ludwig Wittgenstein, Tractatus Logico-Philosophicus, 1922
- ❑ Questo è anche il caso della concorrenza nei linguaggi di programmazione

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 2/38

 Programmazione concorrente

## Architettura «von Neumann»

The Von Neumann or Stored Program architecture



Luogo del controllo

(c) www.teach-ict.com

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 4/38

 Programmazione concorrente

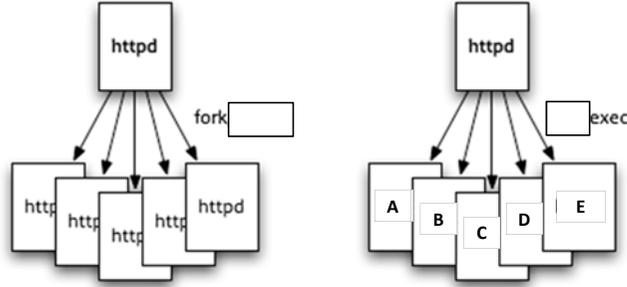
## Premesse – 3

- ❑ **Ma la realtà è intrinsecamente concorrente quando non parallela**
  - Che relazione c'è tra concorrenza e parallelismo? 
- ❑ **Concorrente è anche la maggior parte dei sistemi a controllo SW**
  - Esiste una varietà di tecniche per rappresentare il parallelismo inerente di molte attività
- ❑ **Come progettare un linguaggio di programmazione per sistemi concorrenti?**
  - Nella parte «C» del corso risponderemo a questa domanda ...

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 5/38

 Programmazione concorrente

## Il modello fork / exec



Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 7/38

 Programmazione concorrente

## Linguaggi concorrenti – 1

- ❑ **Un linguaggio sequenziale può generare concorrenza tramite l'uso di librerie di sistema**
  - Sia entro un singolo programma che tra programmi distinti
    - Per esempio, in ambiente Unix, usando `fork()/exec()`
  - L'espressione e il controllo della concorrenza sono in questo caso posti al di fuori del linguaggio
    - Con ciò causando problemi semantici e di portabilità
- ❑ **Un linguaggio concorrente può esprimere la presenza di più luoghi del controllo**
  - Il compilatore crea un ambiente d'esecuzione capace di creare e gestire entità e azioni concorrenti
    - *Run-time environment come macchina virtuale*

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 6/38

 Programmazione concorrente

## Linguaggi concorrenti – 2

- ❑ **Il progetto di un linguaggio concorrente si deve ispirare a un modello di concorrenza di riferimento coerente e consistente**
  - Molte scelte possibili per livello di astrazione e potere espressivo
  - La programmazione concorrente agevola la rappresentazione dell'attività di sistemi complessi
  - Ma è anche difficile ed esposta al rischio di importanti errori concettuali
  - Per questo occorre che il modello di riferimento sia valido
    - Espressivo ma anche verificabile in modo economico

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 8/38



Programmazione concorrente

Forme di concorrenza – 1

- ❑ Chiameremo processo il singolo flusso di controllo all'interno di un programma
  - Cosa definisce lo "stato" di un processo?
  - Perché ci importa saperlo definire?
- ❑ Concettualmente la modalità di esecuzione di un processo può essere tale che
  - a) Tutti i processi condividano lo stesso elaboratore
  - b) Ciascun processo possieda un elaboratore proprio e tutti gli elaboratori condividano memoria
  - c) Ciascun processo possa avere un elaboratore proprio e gli elaboratori, pur interconnessi, non condividano memoria

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova9/38



Programmazione concorrente

Forme di concorrenza – 3

- ❑ La concorrenza è più generale del parallelismo
  - Ma il parallelismo reale pone problemi specifici!

Programmazione concorrente è il nome dato a notazioni e tecniche usate per esprimere parallelismo potenziale e per risolvere i problemi di sincronizzazione e comunicazione correlati con tale espressione.

Il vantaggio della programmazione concorrente è di consentire lo studio del parallelismo senza doversi confrontare con le relative problematiche di realizzazione.

M. Ben-Ari, *Principles of Concurrent Programming*, 1982

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova11/38



Programmazione concorrente

Forme di concorrenza – 2

- ❑ Ciascuna delle forme a) – c) e i loro ibridi comportano tecniche realizzative diverse
  - Definiamo paralleli quei processi che, a un dato istante, sono simultaneamente in esecuzione
    - I casi b) e c), particolarmente nel caso dei nuovi processori *multicore*
  - Definiamo concorrenti quei processi che sono capaci di esecuzione parallela
- ❑ Parallelismo → concorrenza realizzata
- ❑ Concorrenza → parallelismo potenziale

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova10/38



Programmazione concorrente

Osservazioni /1

- ❑ Dal «Go Blog»
  - "In programming, concurrency is the *composition* of independently executing processes, while parallelism is the simultaneous *execution* of (possibly related) computations. Concurrency is about *dealing with* lots of things at once. Parallelism is about *doing* lots of things at once."

[<http://blog.golang.org/concurrency-is-not-parallelism>]
- ❑ Affermazioni valide indipendentemente da Go come linguaggio di programmazione

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova12/38



Programmazione concorrente

## Osservazioni /2

- **Dati  $n$  processi e  $m$  processori**
  - Per  $1 = m < n$  un buon modello concorrente di soluzione a un problema ha buone virtù architettoniche e consente massimo utilizzo della CPU
  - Per  $1 < n \leq m$  l'esecuzione di quel sistema ha *speed-up*  $\leq n$  che dipende dal grado di parallelismo della soluzione concorrente
  - Per  $1 < n \ll m$  serve una progettazione esplicitamente parallela per la quale i modelli di concorrenza classici non sono adeguati

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 13/38



Programmazione concorrente

## Forme di concorrenza – 5

- **Criterio: applicazione di un principio base di ingegneria del *software***
  - Selezione e uso di strumenti e metodi di sviluppo adatti alle caratteristiche del dominio del problema
- **Ambito: applicazioni inerentemente concorrenti**
  - Tutte quelle il cui SW specializzato interagisce direttamente con componenti HW interne ed esterne
  - Sistemi *embedded*

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 15/38



Programmazione concorrente

## Forme di concorrenza – 4

- **La programmazione concorrente non è l'unico modo di sfruttare HW parallelo**
  - Da parallelismo a grana grossa a parallelismo a grana fine
- **Vi sono modelli di elaborazione più adatti ad ambiti di calcolo parallelo**
  - Processori vettoriali
    - Modello di esecuzione SIMD (*single instruction multiple data*)
  - Architetture *data-flow*
    - Non von Neumann (concettualmente senza *program counter*)

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 14/38



Programmazione concorrente

## Un modello di concorrenza – 1

- **Entità attive**
  - Capaci di intraprendere azioni di propria iniziativa se forniti delle necessarie risorse di elaborazione
- **Entità reattive**
  - Eseguono azioni solo in risposta a richieste esplicite
  - Risorse → hanno stato interno e impongono pre- e post-condizioni di accesso
    - P.es. mutua esclusione
  - Entità passive → non impongono condizioni di accesso
    - P.es. senza stato interno

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova 16/38



Programmazione concorrente

## Un modello di concorrenza – 2

- ❑ **La realizzazione di entità risorse richiede capacità di controllo sulle condizioni di accesso**
  - Agente di controllo
- ❑ **Agente di controllo come entità passiva**
  - Semaforo o monitor
- ❑ **Agente di controllo come entità attiva**
  - *Server* (uno speciale processo)



Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

17/38



Programmazione concorrente

## Un modello di concorrenza – 4

- ❑ **La realizzazione di questo modello richiede fino a 3 categorie di primitive**
  - Per processi (entità attive)
  - Per agenti di controllo passivi (semaforo o monitor)
    - Basso livello di astrazione
    - Efficienza d'esecuzione
    - Inflessibilità
  - Per agenti di controllo attivi (server)
    - Maggior livello d'astrazione
    - Maggiori costi di gestione e d'esecuzione
    - Maggiore flessibilità algoritmica

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

19/38



Programmazione concorrente

## Un modello di concorrenza – 3

Tipo Entità		Realizzabile da
Attiva		Processo
Reattiva	Risorsa protetta	Modulo con agente di controllo passivo
	<i>Server</i>	Processo
	Passiva	Modulo senza agente di controllo

Il progetto di un programma concorrente che usi questo modello di concorrenza richiede il riconoscimento di queste entità nel problema

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

18/38



Programmazione concorrente

## Espressione di concorrenza – 1

- ❑ ***Coroutine* – 1 : la storia**
  - Una delle prime e più rudimentali modalità espressive di concorrenza espressa a programma
    - Melvin E. Conway, *Design of a separable transition-diagram compiler*, Communications of the ACM, 6(7), July 1963
  - Esplicita alternanza d'esecuzione tra strutture concorrenti
    - Tramite comando `resume` oppure `yield-to`
  - Modella una tecnica di rappresentazione della simulazione discreta → SIMULA 67
  - Presente in Modula-2, linguaggio concorrente "storico"
    - Ma inadeguata alla programmazione concorrente
  - Ma anche in Ruby v1.9.0 (<http://www.ruby-lang.org/>) e altri

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

20/38

Programmazione concorrente

## Espressione di concorrenza – 2

```

var q := new queue

coroutine produce
loop
while (q not full)
<create item>
<add item to q>
yield to consume
<point of resumption>

coroutine consume
loop
while (q not empty)
<remove item from q>
<use item>
yield to produce
<point of resumption>
                    
```

- **Le coroutine che ritornano conservano il loro *record* di attivazione**
  - I sottoprogrammi lo perdono
  - Le coroutine sono *continuations*
- **Di conseguenza**
  - Le coroutine hanno più punti di attivazione
    - I sottoprogrammi solo uno
  - **Da una stessa coroutine si può ritornare più volte**
    - Mentre da un sottoprogramma una sola

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
21/38

Programmazione concorrente

## Un esempio – 1

T e P devono mantenere temperatura e pressione del sistema entro limiti di sicurezza e stampare a video i valori rilevati

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
23/38

Programmazione concorrente

## Espressione di concorrenza – 3

□ **Dichiarazione e attivazione di processo**

Algol68, CSP, Occam

```

cobegin
P1; P2; P3;
coend;
                    
```

Ada

```

procedure Main is
task A;
task B;
...
task A is ...;
task B is ...;
begin
...
end Main;
                    
```

Dichiarazione

Realizzazione

Attivazione implicita

Attivazione esplicita  
Distinta dalla dichiarazione

A questo punto  
Main, A e B sono  
3 processi concorrenti

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
22/38

Programmazione concorrente

## Un esempio – 2

□ T e P sono entità attive

□ S è una entità passiva ma con uso concorrente

- Meglio vederla come *server* o risorsa protetta

□ **Almeno 3 possibili realizzazioni**

- Completamente sequenziale, ignorando il parallelismo potenziale di T, P, S
- Scrivendo T, P, S in linguaggio sequenziale ma «promuovendoli» a entità concorrenti tramite chiamate al sistema operativo
- Usando un linguaggio concorrente

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova
24/38



Programmazione concorrente

## Un esempio – 3

- **Studiamo le 3 possibili realizzazioni ...**
  - Soluzione sequenziale
  - Soluzione con primitive di S/O
  - Soluzione in linguaggio concorrente

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova25/38



Programmazione concorrente

## Un esempio – 5

- **Soluzione con primitive di S/O**
  - **Migliore rispetto alla soluzione sequenziale**
    - Non richiede attesa attiva
    - Attua un minimo di separazione logica tra moduli tra loro indipendenti
  - **Il controllo sulla concorrenza è demandato al S/O**
    - Leggere il programma non ci aiuta a capirne il funzionamento
      - L'invocazione di servizi di S/O ne ostacola la comprensione
    - Il comportamento del programma dipende dalle scelte del S/O sottostante
      - Portabilità?
      - Verifica?

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova27/32



Programmazione concorrente

## Un esempio – 4

- **Soluzione completamente sequenziale**
  - **Forza un ordinamento innaturale tra moduli indipendenti**
    - P.es.: prima controllo temperatura, poi controllo pressione
  - **Può ritardare o impedire del tutto l'esecuzione di azioni indipendenti ma programmate come successive**
  - **Non tiene conto di possibili differenze nel ciclo operativo di produzione dei dati**
    - P.es.: controllo temperatura ogni 2 secondi, controllo pressione ogni 5 secondi
    - Tenerne conto a programma comporta attesa attiva (*busy wait*)

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova26/38



Programmazione concorrente

## Un esempio – 6

- **Soluzione in linguaggio concorrente**
  - **La logica e la semantica dell'applicazione sono fissate completamente dal programma**
    - Interpretazione garantita dal linguaggio di programmazione
  - **Operazioni di lettura valori dai dispositivi (1, 2) di tipo non bloccante permettono a ciascun processo di operare a frequenza autonoma**
  - **Ma nel codice di esempio abbiamo fatto ipotesi semplicistiche sulla risorsa S**
    - Realizzarla come entità passiva non è sufficientemente generale

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova28/38



Programmazione concorrente

## Un primo raffronto

- ❑ **Fattori a favore della concorrenza espressa a linguaggio**
  - Programmi più leggibili → maggiore manutenibilità
  - Indipendenza dal sistema operativo → maggiore portabilità e idoneità all'uso in ambienti a risorse ristrette
  
- ❑ **Fattori contrari all'espressione di concorrenza a linguaggio**
  - Il linguaggio deve assumere uno specifico modello di concorrenza → perdita di generalità
  - La realizzazione del modello può confliggere con il sistema operativo sottostante → grande sforzo e rischi di distorsione semantica

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

29/38



Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 2

- ❑ **Alcune classi di sistemi richiedono controllo su e garanzie che certe uscite vengano sempre prodotte quando atteso**
  - Questo requisito collide con il desiderio di massimizzare l'uso delle risorse di calcolo (*throughput*)
  - Il sistema va dimensionato per soddisfare i requisiti nel caso peggiore
  
- ❑ **In questo tipo di sistemi occorre**
  - Specificare quando certe azioni devono essere iniziate
  - Specificare quando certe azioni devono essere completate
  - Rispondere a situazioni in cui i requisiti temporali non possono essere soddisfatti
  - Rispondere a situazioni in cui i requisiti temporali cambiano dinamicamente

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

31/38



Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 1

- ❑ **In molti sistemi l'esecuzione deve relazionarsi con il tempo di sistema**
  - Un orologio fisico approssima il trascorrere del "tempo"
  - L'orologio diventa la sorgente del valore "tempo"
  - **Varie scelte per rappresentare questo "tempo"**
    - Ora del giorno espressa in secondi e frazioni nell'arco di 24 ore
      - Oppure: maggiore granularità (e quindi maggiore accuratezza)
    - Tempo monotono crescente
      - Relazionato o meno con il valore "umano"
    - Misurazione di intervalli

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

30/38



Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 3

```
declare
  Start, Finish : Ada.Calendar.Time;
  Interval : Ada.Calendar.Duration := 2.5;
begin
  Start := Ada.Calendar.Clock;
  ... -- actual work
  Finish := Ada.Calendar.Clock;
  if Finish - Start > Interval then
    raise Overrun_Error;
  end if;
end;
```

↑

Questa tecnica assume implicitamente un solo flusso di controllo!

↓

```
Ada.Real_Time.Time;
Ada.Real_Time.Time_Span := Ada.Real_Time.To_Time_Span(2.5);
Ada.Real_Time.Time_Span := Ada.Real_Time.Milliseconds(2500);
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

32/38



Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 4

❑ L'orologio può anche essere usato a fini di sincronizzazione temporale

- **Sospensione relativa**

```
delay 10.0; -- valore di tipo Ada.Calendar.Duration
```

  - Dal tempo in cui viene presa in considerazione
  - La durata della sospensione non è inferiore alla richiesta
    - Nessun limite superiore garantito
    - Il tempo esatto di sospensione è **ignoto**
- **Sospensione assoluta**

```
delay until A_Time; -- valore di tipo Ada.Real_Time.Time
```

  - Riferisce un valore temporale indipendente dal tempo di esecuzione della richiesta
    - Il tempo di risveglio richiesto è garantito entro una latenza data

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

33/38



Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 6

Averdo accesso all'orologio e usando sospensioni assolute possiamo facilmente programmare vere attività periodiche

```
with Ada.Real_Time; use Ada.Real_Time;
...
task body Periodic_Task is
  Interval : constant Time_Span := Millisecond(10_000);
  Next_Time : Time := <System_Start_Time>;
begin
  loop
    delay until Next_Time;
    Periodic_Action;
    Next_Time := Next_Time + Interval;
  end loop;
end Periodic_Task;
```

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

35/38



Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 5

```
Start := Clock;
First_Action;
delay until (Start + 10.0);
Second_Action;
```

A

```
Start := Clock;
First_Action;
delay (Start + 10.0 - Clock);
Second_Action;
```

B

A e B **non** hanno lo stesso effetto perché ●, in presenza di prerilascio, è azione interrompibile  
il valore assunto da Clock quando valutato non è noto a priori

L'effetto del prerilascio nel calcolo di (start + 10.0) **non** ne influenza il valore assoluto e dunque non perturba l'effetto di sospensione assoluta

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

34/38



Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 7

❑ La regolarità temporale delle attività periodiche è esposta a 2 fattori di rischio

- **Deviazione locale (*local drift*)**  
La distanza temporale che separa due successive invocazioni della stessa attività periodica
  - **Inevitabile**, può essere migliorata solo mediante maggiore accuratezza nell'espressione del tempo e controllo più fine e veloce dell'orologio
- **Deviazione cumulativa (*cumulative drift*)**  
L'effetto a catena causato dalla possibile varianza nel completamento delle attività precedenti
  - **Evitabile** tramite l'uso di sospensioni assolute

Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

36/38



Programmazione concorrente

## Drift locale

- The software clock resolution is an important RTOS design parameter
  - The finer the resolution the better the clock accuracy but the larger the time-service interrupt overhead
  - There is delicate balance between the clock accuracy needed by the application and the clock resolution that can be afforded by the system
    - Latency is intrinsic in any query made by a task to the software clock
      - E.g., 439 clock cycles in ORK for the Leon microprocessor
  - The resolution cannot be finer-grained than the maximum latency incurred in accessing the clock (!)

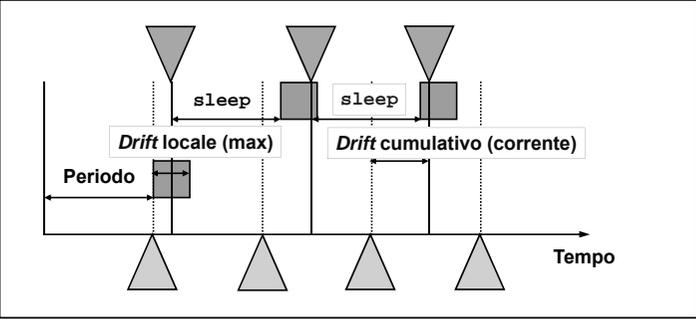
Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

37/38



Programmazione concorrente

## La dimensione temporale – 8



Laurea Magistrale in Informatica, Università di Padova

38/38